

**METHOD FOR DETECTION OF PARAMETERS OF GROUND OBSTACLES  
FOR LOW-LEVEL AIRCRAFT FLIGHTS**

Patent Number: RU2128846  
Publication date: 1999-04-10  
Inventor(s): SAMARIN O F; KURILKIN V V  
Applicant(s): HNO I SKIJ I RADIOSTROENIJA;; OTKRYTOE AKTSIONERNOE OBSHCHE  
Requested Patent: ☐ RU2128846  
Application Number: RU19970112001 19970717  
Priority Number(s): RU19970112001 19970717  
IPC Classification: G01S13/72  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

FIELD: aircraft equipment for detection of ground radar-contrast obstacles. SUBSTANCE: method for detection of distance, angular coordinates, and height of obstacles involves use of Doppler shift of antenna beam of coherent Doppler-pulse aircraft radar in elevation plane. Distance and angular coordinates are detected by means which are standard for radars, while height of obstacle is measured by width of Doppler frequency shift of reflected signal. EFFECT: possibility to measure height of obstacles. 2 cl, 7 dwg

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2



(19) RU<sup>(11)</sup> 2 128 846<sup>(13)</sup> C1  
(51) МПК<sup>6</sup> G 01 S 13/72

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 97112001/09, 17.07.1997

(46) Дата публикации: 10.04.1999

(56) Ссылки: US 4903030 A, 20.02.90. US 5610609 A, 11.03.97. DE 3619369 A, 18.12.86. EP 0334560 A, 27.07.89. RU 2078352 C1, 27.04.97. SU 1626236 A1, 07.02.91.

(98) Адрес для переписки:  
123357 Москва, Электрический пер.1, ОАО  
"Фазотрон-НИИР" Начальнику патентного  
сектора Фаленко В.И.

(71) Заявитель:  
Открытое акционерное общество "Фазотрон -  
Научно-исследовательский институт  
радиостроения"

(72) Изобретатель: Самарин О.Ф.,  
Курилкин В.В.

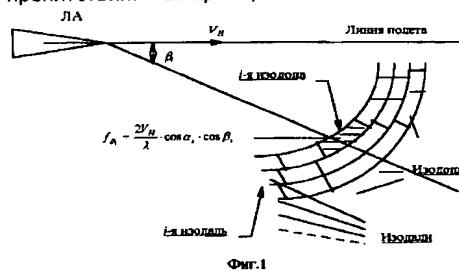
(73) Патентообладатель:  
Открытое акционерное общество "Фазотрон -  
Научно-исследовательский институт  
радиостроения"

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАЗЕМНЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ ПРИ ПОЛЕТЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА МАЛОЙ ВЫСОТЕ

(57) Реферат:

Заявлен способ определения параметров наземных радиоконтрастных препятствий (удаления, угловых координат, высоты препятствия) при полете летательных аппаратов на малой высоте, использующий способ доплеровского облучения луча антенны когерентной импульсно-доплеровской РЛС летательного аппарата в угломестной плоскости. При этом удаление и угловые координаты наземного препятствия определяются традиционными для РЛС способами, а высота препятствия - по ширине спектра доплеровских частот сигнала, отраженного от него. Технический результат

заключается в том, что заявляемый способ позволяет производить оценку высоты препятствий. 1 з.п.ф-лы, 7 ил.



RU 2 128 846 C1

RU 2 128 846 C1



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 128 846** <sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) Int. Cl.<sup>6</sup> **G 01 S 13/72**

RUSSIAN AGENCY  
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 97112001/09, 17.07.1997

(46) Date of publication: 10.04.1999

(98) Mail address:  
 123357 Moskva, Elektricheskij per.1, OAO  
 "Fazotron-NIIR" Nachal'niku patentnogo  
 sektora Falenko V.I.

(71) Applicant:  
 Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Fazotron  
 - Nauchno-issledovatel'skij institut radiostroenija"

(72) Inventor: Samarin O.F.,  
 Kurilkin V.V.

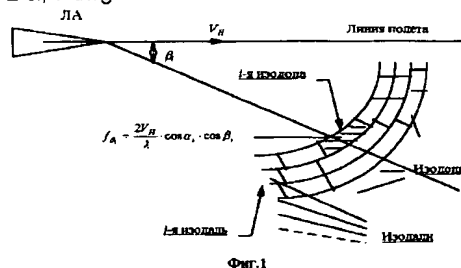
(73) Proprietor:  
 Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Fazotron  
 - Nauchno-issledovatel'skij institut radiostroenija"

(54) **METHOD FOR DETECTION OF PARAMETERS OF GROUND OBSTACLES FOR LOW-LEVEL AIRCRAFT FLIGHTS**

(57) Abstract:

FIELD: aircraft equipment for detection of ground radar-contrast obstacles. SUBSTANCE: method for detection of distance, angular coordinates, and height of obstacles involves use of Doppler shift of antenna beam of coherent Doppler-pulse aircraft radar in elevation plane. Distance and angular coordinates are detected by means which are standard for radars, while height of obstacle is measured by width of Doppler frequency shift of reflected signal. EFFECT: possibility to measure height of obstacles.

2 cl, 7 dwg



RU 2 128 846 C1

RU 2 128 846 C1

Настоящее изобретение относится к области радиолокации и может быть использовано для определения параметров наземных препятствий (удаления, азимута, высоты) с помощью радиолокационных средств, установленных на борту летательного аппарата, при полете на малых и предельно малых высотах.

Существующие экспериментальные образцы бортовых радиолокационных станций (БРЛС) МВП (см., например, [1]) позволяют осуществить, помимо обнаружения наземных объектов, также оценку параметров наземных радиоконтрастных препятствий без оценки их высоты, что не позволяет оценить степень их опасности полету и прогнозировать высоту их облета на прогнозируемых интервалах времени. Последнее не позволяет прогнозировать траекторию полета ЛА (осуществлять его маловысотный полет) при наличии препятствий на определенный интервал времени, особенно в условиях ограниченной видимости, что особенно важно для решения задачи предупреждения о препятствиях в вертолетной авиации, для беспилотных летательных аппаратов и т.д. Между тем, предупреждение о препятствиях и оценка высоты последних является важным фактором обеспечения безопасности маловысотного полета (МВП), в том числе в режиме полуавтоматического пилотирования ЛА.

Известна БРЛС [2], использующая способ доплеровского облучения луча (ДОЛ) [3] для оценки угловых координат и удаления наземных целей с помощью гребенки узкополосных доплеровских фильтров. Сущность этого способа заключается в дальномерно-доплеровской обработке информации в БРЛС, при которой угловое положение наземной цели определяется как угловое положение точки пересечения  $i$ -й изодопы и  $j$ -й изодали, в которой находится наземная цель [3]. При этом изодопы в элементе разрешения по дальности располагаются по линии азимута, а изодали в каждом элементе разрешения по скорости - по линии тангажа (углу места). Тогда процедура оценки азимутального положения цели  $\beta_i$  относительно линии полета состоит в решении уравнения (см. фиг. 1):

$$\beta_i = \arccos \frac{\lambda \cdot f_{di}}{2V_n \cdot \cos \alpha_{ij}} \quad (1)$$

где  $V_n$  - скорость полета носителя в горизонтальной плоскости;

$\lambda$  - длина волны передатчика БРЛС;

$f_{di}$  - доплеровская частота по  $i$ -й изодопе;

$D_i$  - дальность по  $i$ -й изодопе;

$\alpha_{ij}$  - угол визирования цели в вертикальной плоскости в направлении  $i$ -й изодопы и  $j$ -й изодали.

Исходя из соотношения (1), процедура оценки угловой координаты наземного радиоконтрастного объекта в угломестной плоскости заключается в выполнении следующих операций: стробировании приемного устройства БРЛС по дальности;

оценке доплеровской частоты обнаруженных целей в каждом элементе дальности; оценке угловых координат обнаруженных наземных целей по номеру элемента дальности и доплеровской частоте сигнала в этом элементе.

Однако точность описанной в [2] БРЛС при оценке размеров наземных целей, в том числе препятствий, недостаточно высока для оценки высоты препятствий и определяется также шириной луча сканируемой ДНА БРЛС. При сужении ДНА точность оценки размеров наземных препятствий увеличивается, однако при этом резко возрастает время осмотра зоны, в пределах которой индицируется наличие возможных препятствий и оцениваются их размеры. В силу последнего фактора поставленная задача не решается и в случае использования лазерных дальномеров, угловая расходимость луча которых достигает нескольких угловых минут. При этом возможна достаточно точная оценка угловых координат и дальности до верхней кромки препятствия по линии полета ЛА (до  $\pm 1$  угл. минут,  $\pm 1$  м соответственно в благоприятных погодных условиях). Однако время, требуемое для обнаружения наземного препятствия, недопустимо велико, что исключает использование в ЛА лазерных локаторов для решения рассматриваемой задачи.

Следовательно, способ ДОЛ, в классическом своем выражении, позволяя оценивать угловые координаты наземных целей, в том числе и препятствий, и удаление до них не позволяет производить оценку высоты препятствий.

Задачей настоящего изобретения является определение параметров препятствий по линии полета летательного аппарата в пределах некоторой зоны ответственности, в том числе и высоты препятствий.

Поставленная задача достигается путем формирования "патообразной" диаграммы направленности антенны (ДНА) БРЛС в вертикальной (угломестной) плоскости и "игольчатой" - в горизонтальной (азимутальной) плоскости с использованием многоканальной доплеровской обработки сигнала и реализации способа ДОЛ в угломестной плоскости.

При этом ДНА в горизонтальной плоскости сориентирована так, чтобы ее ось была направлена по линии полета ЛА (или осуществляла сканирование в некотором секторе  $\pm \delta \beta$  относительно вектора скорости  $\vec{V}_n$  ЛА); в вертикальной плоскости

равносигнальное направление (РСН) ДНА зафиксировано и отклонено на угол  $\alpha_0$  относительно линии полета ЛП, как это изображено на фиг. 2.

При этом расстояние до наземного радиоконтрастного препятствия определяется по номеру канала дальности, в котором произошло его обнаружение, а высота - по количеству доплеровских фильтров, в которых произошло обнаружение препятствия (препятствий), и углу  $\alpha_0$ , соответствующему ориентации РСН антенны в вертикальной плоскости.

На фиг. 1 представлена иллюстрация

возможности измерения координат наземных объектов с помощью режима ДОЛ; на фиг. 2 - эффект сужения ДНА при использовании режима ДОЛ; на фиг. 3 - принцип оценки высоты наземных препятствий при использовании режима ДОЛ; на фиг. 4 - частотный спектр отражений в пределах ДНА по углу места (тангажу); на фиг. 5 - структурная схема канала обнаружения и оценки координат наземных объектов; на фиг. 6 и 7 - эффективность предлагаемого изобретения.

Сущность изобретения состоит в излучении и приеме радиолокационных сигналов с помощью антенны, имеющую "лопатообразную" диаграмму направленности в вертикальной плоскости и игольчатую - в горизонтальной плоскости, ориентированную по направлению вектора скорости полета летательного аппарата, осуществляющую сканирование по азимуту в пределах некоторого углового сектора. Принятый сигнал подвергают дальномерно-доплеровской обработке, например, с помощью стробирования приемника РЛС по дальности и узкополосной доплеровской фильтрации, в результате чего реализуется эффект доплеровского обужения луча в угломестной плоскости. Затем с помощью методов пороговой обработки осуществляют выделение участков доплеровского спектра, соответствующего отражением от наземных объектов в каждом канале дальности, протяженность которых характеризует высоту наземного объекта, например высоту препятствия, а угол отворота антенны на объект - азимут объекта. Удаление до объекта определяется по номеру канала дальности, где произошло его обнаружение.

Применение доплеровского обужения луча в вертикальной плоскости позволяет искусственно разбить ДНА в вертикальной плоскости на ряд секторов шириной  $\delta\Theta_i$ , каждый из которых соответствует некоторой полосе  $\Delta f_{\partial i}$  доплеровских частот сигнала,

отраженного от определенного участка подстилающей поверхности, что иллюстрируется фиг. 2.

На фиг. 2:  $V_n$  - скорость носителя (ЛА);  $\alpha_0$  - положение РСН антенны в вертикальной плоскости.

Число таких секторов и их угловой размер определяются полосой  $\Delta F_{\Phi}$  пропускания доплеровского фильтра, шириной  $\Theta$  ДНА БРЛС, скоростью  $V_n$  полета ЛА, длиной  $\lambda$  волны передатчика БРЛС и т.д.

Сущность предлагаемого изобретения иллюстрируется фиг. 3.

На фиг. 3:  $h$  - высота полета ЛА над подстилающей поверхностью;  $\Pi$  - радиоконтрастное препятствие высотой  $H$ ;  $\alpha_0$  - угол визирования ДНА в вертикальной плоскости;  $V_n$  - скорость полета ЛА;  $\alpha_n, \alpha_n$  - углы видимости верхней и нижней кромок препятствия;  $D$  - удаление препятствия относительно ЛА;

Соответственно фиг. 3, спектр доплеровских частот в пределах угла  $\Theta$ , отраженных от подстилающей поверхности, включая препятствие, имеет вид фиг. 4.

$f_{\partial \min}$   $f_{\partial \max}$  - доплеровские частоты,

соответствующие положению нижней и верхней кромок луча ДНА шириной  $\Theta$ ;  $\Delta f_{\partial i} = \Delta f_{\Phi}$  - участок спектра

5 доплеровских частот, соответствующий полосе доплеровского фильтра;  $\Delta f_{\partial}$  - ширина участка спектра доплеровских частот сигнала, отраженного от радиоконтрастного препятствия.

Величина  $\Delta f_{\partial}$ , исходя из фиг. 3, определяется соотношением

$$\Delta f_{\partial} = \frac{2V}{\lambda} (\cos \alpha_n - \cos \alpha_0). \quad (2)$$

Выражая (2) через известные (или 15 измеряемые) параметры полета ЛА, можно получить;

$$\Delta f_{\partial} = \frac{2V}{\lambda} \left[ \frac{1}{\sqrt{D^2 + (h-H)^2}} - \frac{1}{\sqrt{D^2 + h^2}} \right]. \quad (3)$$

20 Тогда высота  $H$  препятствия оценивается в соответствии со следующим соотношением:

$$H = h - \sqrt{\frac{(D + 2V/\lambda)^2}{\left( \Delta f_{\partial} + \frac{2V}{\lambda} \cdot \frac{D}{\sqrt{D^2 + h^2}} \right)^2 - D^2}}. \quad (4)$$

30 Т. е. ширина спектра доплеровских частот сигнала, отраженного от препятствия, зависит только от неизвестной величины  $H$  высоты препятствия при известных (или измеряемых) параметрах полета ЛА.

Сама величина  $\Delta f_{\partial}$  определяется по выходу адаптивного обнаружителя, основанного, например, на принципе одно- или двухстороннего детектора (например, [4]), содержащего  $K$  доплеровских цифровых фильтров, каждый из которых имеет 35 полосу  $\Delta F_{\Phi}$ . Количество  $m$  подряд следующих фильтров, в которых произошло обнаружение сигнала, прямо пропорционально высоте  $H$  препятствия. Случай  $m=1$  соответствует либо одиночной наземной цели, либо препятствию, имеющему 40 небольшую высоту; случай  $m>1$ , особенно при малых значениях угла  $\alpha_0$ , соответствует большой высоте препятствия.

Структурная схема радиолокационного канала, позволяющего обнаруживать наземные цели и оценивать их координаты, а также обнаруживать наземные препятствия, 50 оценивать их координаты и высоту, представлена на фиг. 5.

На фиг. 5  $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_K$  - гребенка, состоящая из  $K$  узкополосных доплеровских фильтров.

Сигнал с выхода приемника в каждом канале дальности, охватывающим зону 55 ответственности БРЛС, фильтруется  $K$  доплеровскими цифровыми фильтрами (реализуемыми, например, в процессоре ЦОС) с разрешающей

60 способностью  $\Delta f_{\Phi}$  в общем случае одинаковой для всех каналов.

Величина адаптивного порога изменяется в зависимости от уровня фона отражений от поверхности земли. В результате пороговой обработки выделяется участок (или участки) спектра доплеровских частот,

соответствующий отражениям от препятствий, представляющих опасность для полета (случай  $m > 1$ ), или одиночных наземных целей ( $m=1$ ), находящихся в пределах ширины  $\Theta$  ДНА БРЛС. Вычислитель  $N$  осуществляет фиксацию числа  $m$  смежных фильтров  $F_1 \dots F_{m+1}$  (при  $m > 1$ ) и вычисление высоты  $H$  препятствия (или препятствий). Вычислитель координат целей реагирует только на ситуации, когда  $m=1$  и производит оценку дальности и угловых координат одиночных целей.

При достаточно малых значениях  $\Delta F_{\Phi} (\sim n \cdot 10 \text{ Гц})$ ,  $\alpha_0 (\sim 10 \dots 15^\circ)$  случаю  $m=1$  соответствует одиночная цель с высотой  $n \cdot 1 \text{ м}$ .

Случаю  $m \geq 2$  соответствует препятствие с высотой  $H$  порядка  $n \cdot 10 \text{ м}$  и более ( $n=1, 2, \dots$ ).

Точность оценки  $\sigma H$  высоты препятствия зависит от полосы  $\Delta F_{\Phi}$  доплеровского фильтра, длины  $\lambda$  волны БРЛС, скорости  $V_H$  полета ЛА, углов  $\alpha_n$ ,  $\alpha_v$  визирования препятствия и оценивается в соответствии с соотношением

$$\sigma H = D \frac{\Delta F_{\Phi}}{2V_H} \frac{1}{\lambda} \sin \alpha_{cpj} \cdot \cos \alpha_{vj} \cdot \cos \alpha_{nj} \quad (5)$$

где  $\alpha_{cpj}$ ,  $\alpha_{vj}$ ,  $\alpha_{nj}$  - среднее, верхнее и нижнее значение положения углового сектора

относительно  $\rightarrow$  соответствующего  $j$ -му  $V_H$ .

доплеровскому фильтру.

На фиг. 6 представлена экспериментальная зависимость точности  $\sigma H/H$  оценки высоты препятствия в зависимости от дальности  $D$  до препятствия, скорости  $V_H$  полета ЛА, высоты  $H$  препятствия для  $\lambda = 8,6 \text{ мм}$ ,  $\Delta F_{\Phi} = 60 \text{ Гц}$  и  $h = 50 \text{ м}$  и при трех значениях скорости полета ЛА:

$V_H = 25 \text{ м/с}$  (сплошные линии),  $V_H = 42 \text{ м/с}$  (пунктирные линии);

$V_H = 86 \text{ м/с}$  (штрихпунктирные линии).

Из представленных экспериментальных зависимостей следует, что точность  $\sigma H/H$  оценки высоты  $H$  препятствия увеличивается с уменьшением дальности  $D$  до препятствия, высоты  $H$  препятствия, скорости  $V_H$  ЛА. Полученные результаты соответствуют реальным потребностям при пилотировании ЛА, когда точность оценки высоты  $H$  препятствия должна увеличиваться при сближении с препятствием и увеличением скорости сближения с ним.

Скачки зависимостей  $\partial(\sigma H/H)/\partial H$  на фиг. 6 объясняются дискретностью измерения величины  $\Delta f_{\Phi}$  гребенкой узкополосных фильтров с полосой каждого  $\Delta F_{\Phi}$ , когда сигнал, отраженный от вершины препятствия, переходит из одного доплеровского фильтра в соседний с ним. Эти разрывы в значительной степени устраняются использованием совместной обработки информации в смежных фильтрах гребенки,

учитывая, что амплитуда сигнала на выходе  $j$ -го узкополосного доплеровского фильтра обратно пропорциональна его расстройке относительно сигнала и максимальна, когда полоса  $j$ -го фильтра полностью охватывает  $j$ -й участок спектра сигнала.

С уменьшением  $\Delta F_{\Phi}$  полосы доплеровского фильтра точность  $\sigma H/H$  оценки высоты  $H$  препятствия также возрастает. Однако при этом увеличивается требуемое время когерентного накопления сигнала при его обнаружении - с одной стороны, в то же время уменьшается реальное время когерентного накопления сигнала - в силу уменьшения времени нахождения сигнала за такт обработки информации в БРЛС в этом фильтре из-за движения ЛА со скоростью  $V_H$ . Расчеты и моделирование показали, что полет ЛА в диапазоне скоростей  $150 \dots 280 \text{ км/ч}$  при  $\lambda = 8,6 \text{ мм}$  оптимальное значение  $\Delta F_{\Phi}$  составляет величину порядка  $30 \dots 60 \text{ Гц}$ . При этом ЛА за такт обработки ( $\sim 30 \dots 50 \text{ мс}$ ) пролетает расстояние около  $3 \dots 5 \text{ м}$  (для приведенных на фиг. 6 условий), что сопоставимо с приведенными на фиг. 6 значениями  $\sigma H/H$ .

На фиг. 7 приведены зависимости  $\Delta f_{\Phi}$  от дальности для двух значений  $H$  -  $8 \text{ м}$  и  $15 \text{ м}$ , подтверждающие рост точности оценки высоты  $H$  препятствия при уменьшении  $D$  для фиксированного значения  $\Delta F_{\Phi}$ .

Источники информации:

1. James H. Hughen, Arleign B. Baker, Daniel J. Sullivan. Demonstration of a SAR Mode for a Lightweight 35 Ghz MMW Radar. - IEEE Trans., 1994, N 7, p. 23-28.

2. РЛС с повышенной разрешающей способностью по угловым координатам. - Патент США, N 4903030, МКИ G 01 D 13/72, заявл. 2.07.87., опубл. 20.02.90; НКИ 342/113.

3. Cherwek R.A. Coherent active seeker guidance, concepts for tactical missiles. - "EASCON' 78" Rec. IEEE Electron and Aerospace Syst. Conven., Arlington. Vo. Sept. 25-27, 1978, New York, N.Y., 1978, p.p. 199-202.

4. Э.К.Аль-Хусайни. Особенности работы "минимального" и "максимального" детекторов при интегрировании М-импульсов. - ТИИЭР, 1988, том 76, N 6, стр. 101-102.

#### Формула изобретения:

1. Способ определения параметров наземных препятствий при полете летательных аппаратов на малой высоте, заключающийся в том, что осуществляют узкополосную доплеровскую фильтрацию сигнала на выходе приемного устройства радиолокационной станции, обнаруживают и оценивают координаты одиночных наземных радиоконтрастных целей, отличающийся тем, что формируют лопатообразную диаграмму направленности антенны радиолокационной станции, ориентированную по направлению вектора скорости полета летательного аппарата, осуществляют сканирование антенны по азимуту в ограниченном угловом секторе, производят доплеровское облучение луча по углу места путем многоканальной доплеровской фильтрации, по задержке отраженного сигнала осуществляют обнаружение сигнала во всех фильтрах, вычисляют дальность  $D$  до наземного препятствия, оценивают ширину  $\Delta f_{\Phi}$  доплеровского спектра

отраженных от препятствия сигналов, по величине которой по соотношению

$$H = h - \sqrt{\frac{(2D + V_n \cdot \lambda)^2}{\left( \Delta f \cdot \frac{2V_n}{\lambda} + \frac{D}{\sqrt{2 + h^2}} \right)^2 - D^2}}$$

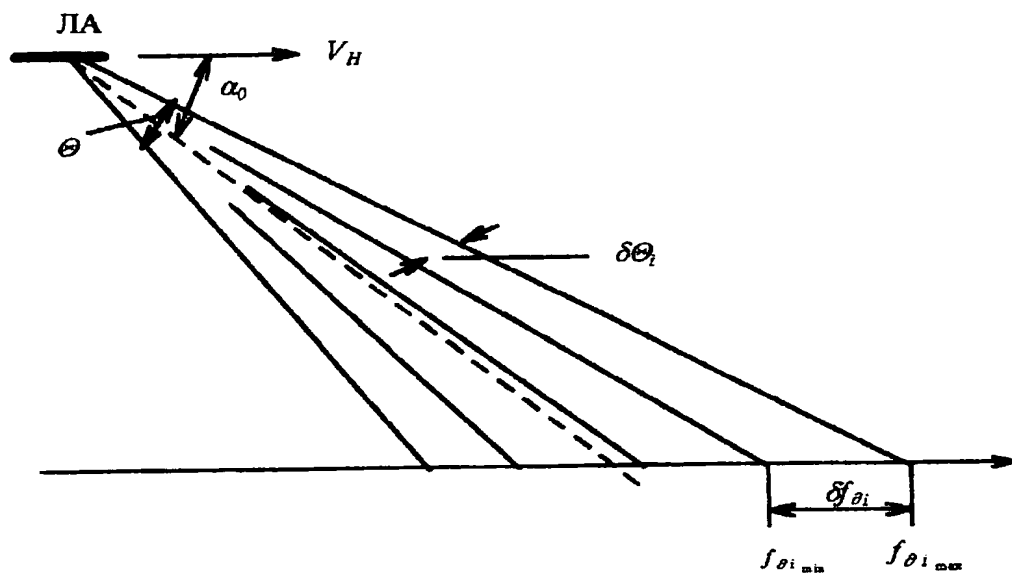
где  $V_n$  - скорость полета летательного аппарата;  
 $\lambda$  - длина волны РЛС;  
 $h$  - высота полета летательного аппарата

над подстилающей поверхностью, вычисляют высоту  $H$  наземного препятствия, а по угловому положению антенны в горизонтальной плоскости определяют азимут наземного препятствия.

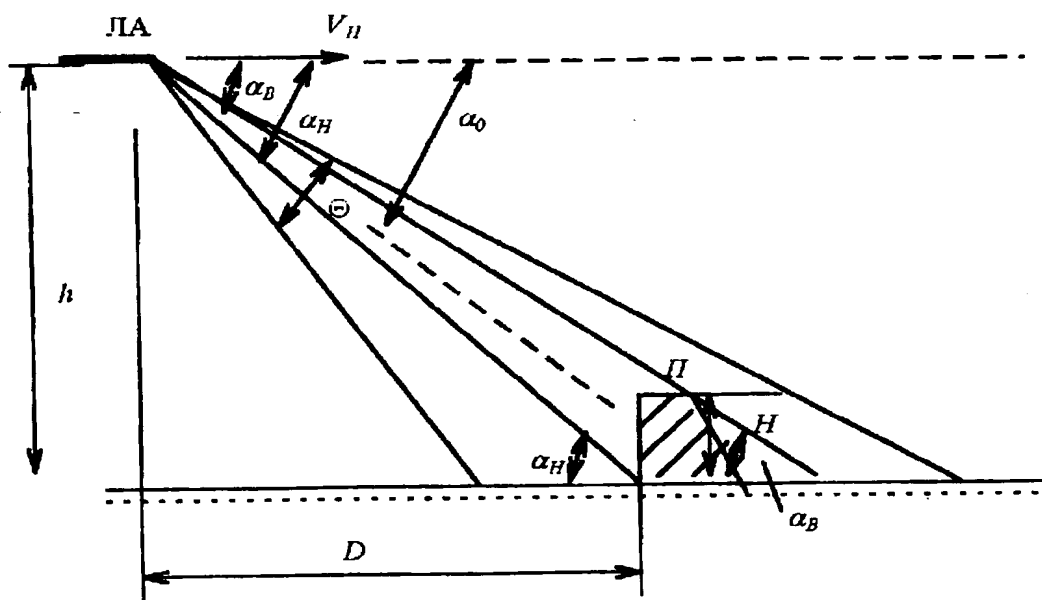
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что при обнаружении и оценке координат одиночных наземных радиоконтрастных целей выделяют участки спектра отраженных от поверхности сигналов, превышающие уровень спектра фоновых отражений, ширина которых не превышает величины полосы пропускания одиночного фильтра гребенки узкополосных доплеровских фильтров при доплеровском облучении луча.

RU 2128846 C1

RU 2128846 C1



Фиг.2

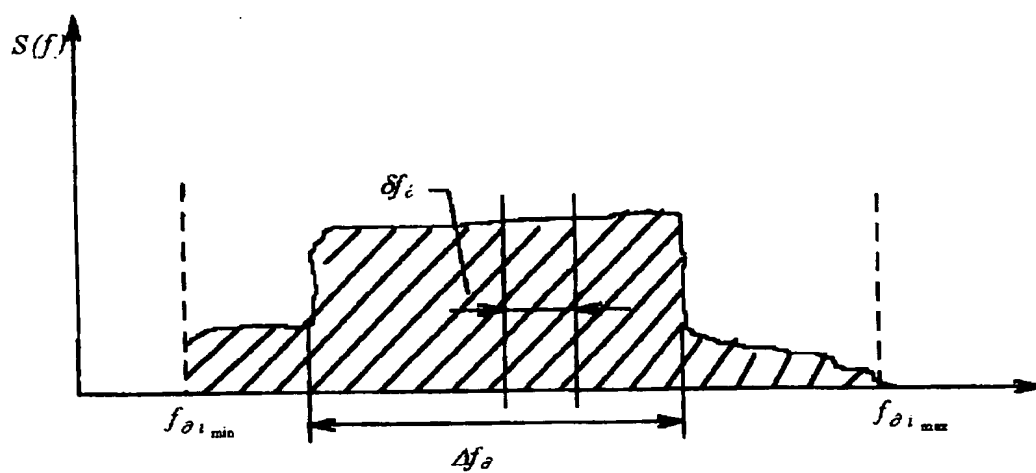


Фиг.3

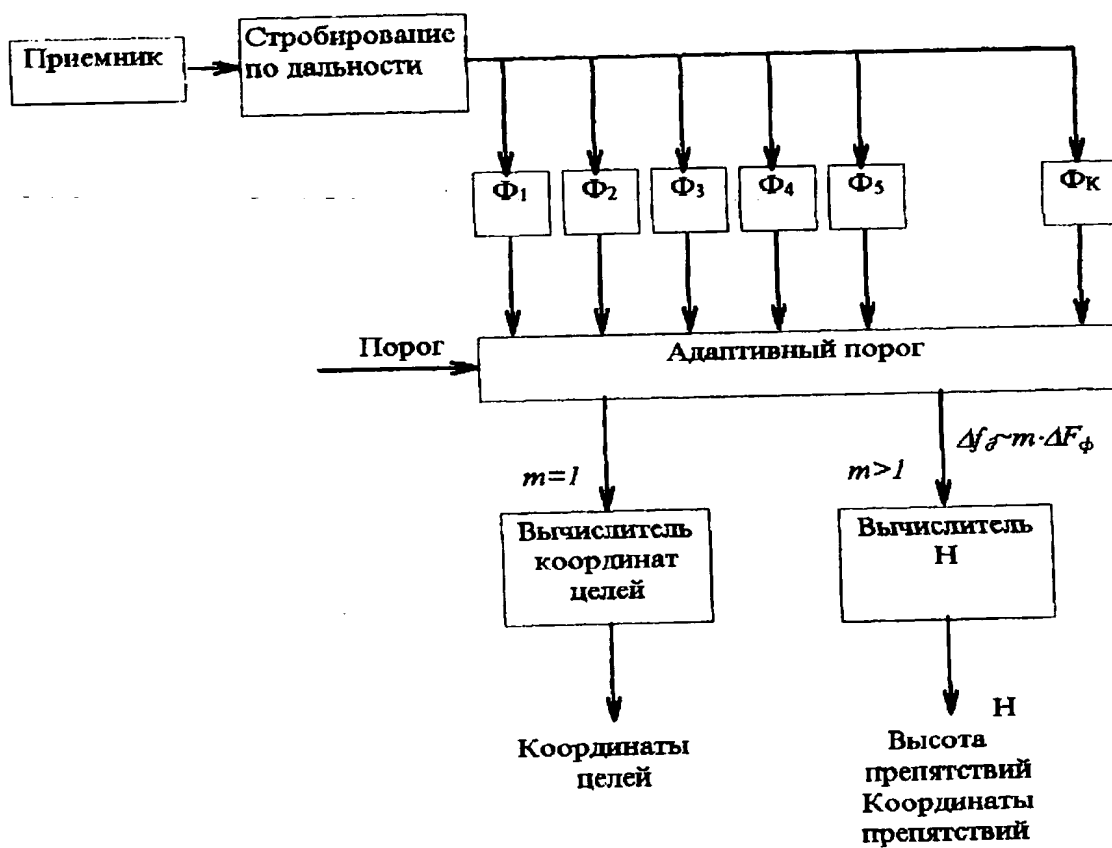
RU 2128846 C1

RU 2128846 C1



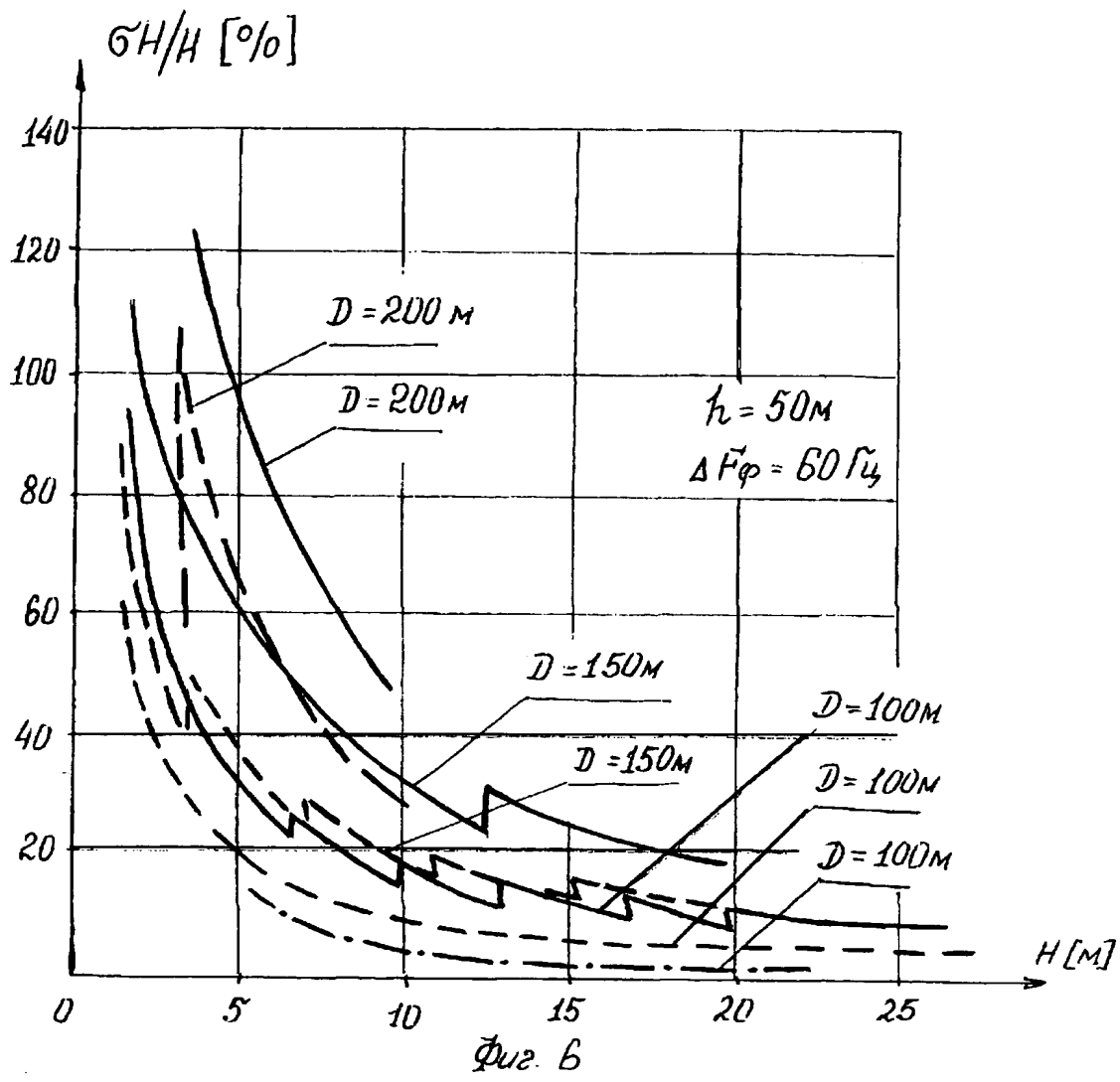


Фиг.4



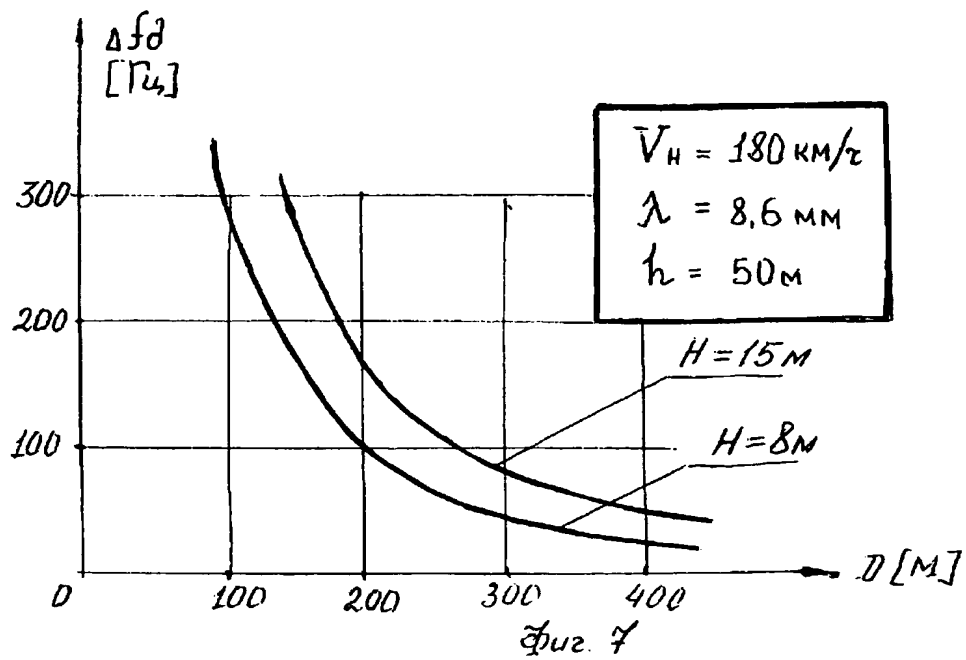
Фиг.5

RU 2128846 C1



RU 2128846 C1

RU 2128846 C1



RU 2128846 C1